

Le projet scientifique de DIVECOSYS :

« Diversité des systèmes de production et gestion agro-écologique des bio-agresseurs en Afrique de l'Ouest »



Pascal Clouvel^a, Thierry Brévault^a, Guillaume Amadji^b, Françoise Assogba-Komlan^c, Dominique Bordat^d, Mariama Dalanda Diallo^e, Hubert De Bon^d, Karamoko Diarra^f, Abdoulaye Hamadoun^g, Joël Huat^d, Pascal Marnotte^a, Philippe Menozzi^a, Patrick Prudent^a, Alain Renou^a, Jean-Yves Rey^d, Dieynaba Sall^h, Pierre Silvie^a, Serge Simon^d, Antonio Sinzogan^b, Manuele Tamoⁱ et Jean-François Vayssières^d

Montpellier, 15 mai 2013

L'objet de ce document est de présenter le projet scientifique du dispositif de recherche et d'enseignement en partenariat (DP) DIVECOSYS, dédié à la gestion agro-écologique des bio-agresseurs selon la diversité des systèmes de production agricole en Afrique de l'Ouest. Ce projet est issu de la réflexion du collectif de chercheurs réuni à l'occasion de l'atelier tenu à Dakar du 24 au 26 octobre 2012 autour des questions suivantes : Qui sommes-nous ? Que voulons-nous faire ensemble ? Quel cadre conceptuel pour nos travaux ? Quelles sont nos questions de recherche ? Quels axes structurants pour le DP ?

^a CIRAD, PERSYST, UR SCA, Montpellier, France

^b UAC, FSA, Cotonou, Bénin

^c INRAB, CRAPP, Cotonou, Bénin

^d CIRAD, PERSYST, UR Hortsys, Montpellier, France

^e UGB, UFR S2ATA, Saint-Louis, Sénégal

^f UCAD, FST, Dakar, Sénégal

^g IER, CRRA de Sotuba, Bamako, Mali

^h ISRA, CDH, Dakar, Sénégal

ⁱ IITA, Cotonou, Bénin

☉ Introduction

Les bio-agresseurs des cultures représentent une contrainte majeure à l'intensification de la production agricole en zone tropicale. Les bio-agresseurs regroupent tous les organismes nuisibles aux cultures, des arthropodes (insectes et acariens), aux bactéries ou virus, en passant par les champignons, les nématodes, les rongeurs, les oiseaux ou les mauvaises herbes. Le recours aux pesticides, comme principal moyen de lutte, a montré certaines limites, comme le développement de résistances, mais également un effet délétère sur la biodiversité fonctionnelle, avec pour conséquence une altération des services de régulation écologique et l'augmentation de la fréquence d'événements de pullulation des populations de bio-agresseurs.

En Afrique de l'Ouest, où l'agriculture familiale prédomine, l'usage des pesticides reste limité et réservé à certaines productions commerciales (en particulier coton, fruits et maraîchage) dont l'importance économique et sociale est souvent déterminante pour les populations locales, tant rurales qu'urbaines. Céréales, légumineuses, racines et tubercules, cultivés en saison des pluies, entrant ou non dans les systèmes de cultures intégrant des productions commerciales, sont majoritairement cultivés sans recours aux pesticides. Cependant, de façon plus ou moins marquée selon les contextes écologiques explorés (sub-sahéliens à forestiers), la simplification des paysages résultant de l'activité agricole et de l'extension urbaine, contribue à l'érosion de la diversité cultivée et à la fragmentation, voire à la disparition, des habitats non cultivés, supports de la biodiversité fonctionnelle. L'érosion de la biodiversité et la perte de fonction de régulation qui l'accompagne, qu'elle soit liée à l'utilisation incontrôlée de pesticides ou à la fragmentation des habitats naturels, accroissent la sensibilité des écosystèmes cultivés aux bio-agresseurs, et aux invasions biologiques, elles-mêmes exacerbées dans un contexte de changements globaux.

La mobilisation des services de régulation écologique des bio-agresseurs constitue une voie insuffisamment explorée pour inventer des modèles d'intensification « écologique » de la production agricole permettant d'accroître la productivité des systèmes agricoles (produire plus) et de diminuer la dépendance des producteurs vis-à-vis des pesticides (produire mieux).

☉ Enjeux

Entre 1982 et 2007, la production globale de céréales et de légumineuses a été respectivement multipliée par 3 et 2,4 en Afrique sub-saharienne, où la population a plus que doublé sur la même période. Cette hausse de la production provient essentiellement de l'extension des surfaces cultivées, sans augmentation des rendements. En outre, les pertes dues aux bio-agresseurs lors de la production et du stockage des denrées agricoles restent anormalement élevées, du fait notamment de la faible efficacité des mesures de protection phytosanitaire des cultures lorsqu'elles sont mises en œuvre. Pour répondre à l'augmentation de la demande, il faudrait que les surfaces cultivées soient multipliées par 2

à 3 d'ici 2050. Une telle expansion est difficilement envisageable dans la plupart des pays d'Afrique, en raison de la disponibilité en ressources foncière et hydrique, et de l'impact négatif qu'aurait cette expansion sur les espaces naturels dont la biodiversité doit être conservée. La recherche s'inscrit donc dans le double enjeu de sécurité alimentaire des populations tant rurales qu'urbaines, et de préservation de leur environnement.

● Objectifs

L'objectif des travaux de recherche à développer au sein de DIVECOSYS est de contribuer à l'émergence de systèmes agricoles intensifs et durables basés sur une mobilisation accrue des services de régulation écologique des bio-agresseurs aux différentes échelles d'action, du champ cultivé au paysage agricole. Au travers des différents projets qui structurent déjà ses travaux ou qui seront proposés, DIVECOSYS devra concevoir et évaluer le potentiel de pratiques agricoles innovantes et de modes d'organisation du paysage comme (i) levier de mobilisation des services de régulation écologique des bio-agresseurs, et (ii) voie d'adaptation des systèmes de production (produire mieux et plus) aux perturbations induites par les changements globaux : croissance démographique, changement climatique, invasions biologiques, accès aux ressources.

L'objet de la collaboration entre chercheurs, enseignants et acteurs du développement réunis au sein de DIVECOSYS est l'établissement d'un réseau d'échanges et de mise en synergie des actions de recherche conduites localement sur la gestion des bio-agresseurs des cultures en Afrique de l'Ouest. La valeur ajoutée du dispositif en partenariat DIVECOSYS réside essentiellement dans le partage de concepts issus des disciplines de l'agronomie et de l'écologie (intensification écologique, services des écosystèmes, écologie du paysage, etc.), dans la diffusion et la mutualisation d'outils et

de méthodes permettant de renforcer les capacités de recherche (gestion et analyse de données, systèmes d'information géographiques, modélisation, rédaction scientifique, etc.), et dans la constitution d'une masse critique de compétences pour la proposition de projets de recherche en réponse à des appels d'offre internationaux. Les activités de recherche et d'appui au développement agricole seront conduites dans les écorégions proposées par les partenaires des trois pays piliers de DIVECOSYS (Fig. 1).

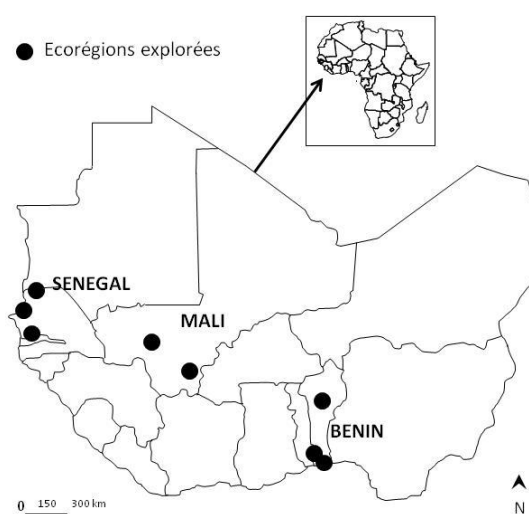


Figure 1. Zones focales du dispositif DIVECOSYS.

◎ Cadre conceptuel

Chercheurs et enseignants-chercheurs engagés dans l'action en Afrique de l'Ouest, nous constatons que les méthodes et techniques développées en matière de protection des cultures, par voie chimique (e.g. traitements sur seuil en culture cotonnière) ou dans le cadre de la lutte biologique (e.g. pulvérisations de bio-insecticides à base de *Bacillus thuringiensis* ou lâchers d'auxiliaires en cultures maraîchères), ont contribué à réduire l'usage de pesticides à large spectre durant les dernières décennies. Toutefois, nous observons aussi l'émergence de nouveaux problèmes de « santé des plantes » :

- (i) l'acquisition de résistances multiples aux insecticides (y compris bio-pesticides) chez certains insectes (e.g. la mouche blanche, *Bemisia tabaci*, et la teigne du chou, *Plutella xylostella*),
- (ii) l'élargissement de la niche écologique de certains insectes ravageurs à d'autres espèces cultivées, présentes dans le paysage, mais jusqu'alors non prises en compte dans la dynamique des populations (e.g. la noctuelle, *Helicoverpa armigera*), ou l'occupation d'une niche écologique libérée (e.g. mirides),
- (iii) des invasions biologiques (e.g. la mouche des fruits, *Bactrocera invadens*, en Afrique de l'Ouest, ou plus récemment la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* au Sénégal).

Les mauvaises herbes constituent un groupe particulier de bio-agresseurs, dont la maîtrise occupe une part importante du calendrier cultural des agriculteurs. L'usage des herbicides se développe en Afrique de l'Ouest, notamment celui des herbicides non sélectifs comme le glyphosate, dont l'emploi généralisé pourrait favoriser le développement de résistances et avoir des conséquences négatives sur l'environnement. Par ailleurs, les mauvaises herbes peuvent jouer un rôle comme hôte alternatif d'insectes ravageurs (e.g. *Cleome* spp. pour *H. armigera*) ou source de nourriture pour les ennemis naturels. Enfin, certaines méthodes de lutte biologique contre les bio-agresseurs, *a priori* non polluantes, sont susceptibles de perturber le fonctionnement des écosystèmes, avec, par exemple, des effets non intentionnels sur les espèces indigènes, qu'il convient d'évaluer.

Dans le cadre de DIVECOSYS, et compte-tenu de l'objectif appliqué de conception et d'évaluation de systèmes de production durables que nous poursuivons, nous proposons d'observer différemment les systèmes biologiques qui nous intéressent, en adoptant notamment les méthodes et concepts issus de l'écologie du paysage et de l'écologie des communautés.

○ Echelles d'action et d'analyse

L'abondance d'une population de bio-agresseurs résulte d'interactions dynamiques avec l'environnement biotique et abiotique (milieu) qui se déroulent sur des pas de temps et des espaces qui dépassent le plus souvent le cycle cultural (variabilité pluriannuelle) ou la seule parcelle cultivée (paysage).

Le paysage, en interaction constante avec les processus écologiques qui s’y déroulent, est la résultante de la dynamique du milieu et de la société qui s’y est développée. En regard de cette acception, nous postulons que le paysage est le niveau d’analyse approprié pour une approche holistique de l’action, i.e. les pratiques individuelles et collectives en matière de lutte contre les bio-agresseurs, leur efficience vis-à-vis du système biologique cible et leurs externalités, dans la perspective d’une gestion durable de la production.

La démarche que nous proposons pour une gestion écologique des bio-agresseurs consiste à composer (i) l’action sur le milieu au travers des pratiques de gestion des bio-agresseurs et des innovations techniques développées et (ii) l’action sur le paysage à ses différents niveaux d’organisation (champ, mosaïque, usage des terres), en vue de l’activation des processus écologiques impliqués dans les services de régulation des bio-agresseurs des cultures (Fig. 2). En tant que gestionnaire des territoires qu’ils mettent en valeur, les acteurs, leurs savoirs et leurs capacités d’innovation, seront mobilisés dans les phases de conception et d’évaluation de systèmes agricoles innovants.

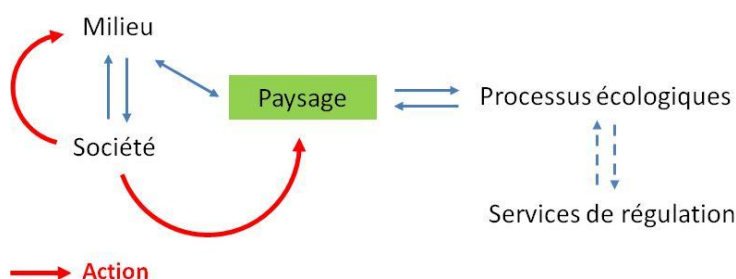


Figure 2. Cadre d’action et d’évaluation des actions proposées par DIVECOSYS à partir des concepts issus de l’écologie du paysage (adapté de Burel et Baudry 1999¹). Le paysage est la résultante de la dynamique du milieu et de la société qui s’y est développée (flèches bleues). Afin de contribuer à l’intensification écologique de la production sur les territoires d’étude, nous proposons d’agir (i) sur le milieu pour réduire les externalités négatives liées aux pratiques agricoles mobilisées pour contrôler les bio-agresseurs, dont l’application de pesticides, et (ii) sur l’organisation du paysage pour activer les processus écologiques à l’origine des services de régulation des bio-agresseurs (flèches rouges).

○ **Pratiques et activation des services de régulation**

Les pratiques agricoles peuvent affecter l’abondance d’une population de bio-agresseurs en agissant sur le milieu, en perspective d’une suppression sur les espaces concernés par l’action (e.g. le champ cultivé, le verger), par voie chimique (e.g. traitements insecticides), biotechnique (e.g. pièges à phéromones), biologique (e.g. lâchers de parasitoïdes) ou mécanique (e.g. filets anti-insectes, travail du sol). Les pratiques agricoles peuvent également affecter l’abondance d’une population de bio-agresseurs en agissant sur le paysage (e.g. agencement spatial des cultures, arbres, haies), considéré comme une mosaïque d’habitats, en perspective d’une régulation des bio-agresseurs sur les espaces concernés par l’action (e.g. la plantation, le bassin de production), par la modification de la quantité et de la qualité des ressources pour les bio-agresseurs (régulation *bottom up*), ou par une mobilisation accrue des populations d’ennemis naturels (régulation *top down*).

¹ Burel F., Baudry J. Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Paris, Éditions TEC & DOC, 1999, 359 p.

◉ Contextes socio-écologiques explorés

Les systèmes de production en Afrique de l'Ouest consistent généralement en une mosaïque d'espaces cultivés et d'habitats semi-naturels qui varient dans le temps et constituent des ressources pour les communautés d'insectes. Du nord du Sénégal au sud du Bénin, le dispositif DIVECOSYS se propose d'explorer une gamme de contextes socio-écologiques contrastés, notamment en relation avec la pluviosité, allant de 250 mm au Nord selon un régime monomodal (juillet – novembre), jusqu'à 1400 mm au Sud du Bénin, selon un régime bimodal (Tab. I).

Tableau I. Contextes socio-écologiques explorés. Ce tableau résume les contributions d'une vingtaine de chercheurs.

Pays	Ecorégion	Biome (couverture résiduelle %)	Paysage	Système de Production	Modèle biologique	Traits de vie
Sénégal	Niayes	Savane arbustive (20-90)	Juin-nov.: mosaïque de cultures Déc.-juin : patches de cultures irriguées	Agropastoralisme, maraîchage, vergers	Teigne du chou Mouches des fruits Noctuelle de la tomate	oligophagie résistance polyphagie invasion polyphagie migration
	Delta du fleuve Sénégal	Savane herbacée (20-80)	Patches de périmètres irrigués	Agropastoralisme, riz, sorgho de décrue, maraîchage	Foreur des tiges Punaises du sorgho Noctuelle de la tomate	diapause diversité
	Bassin arachidier	Savane arborée (0-20)	Mosaïque de cultures sous parc arboré	Agropastoralisme, Céréales sèches, légumineuses	Bruche de l'arachide Mineuse du mil	racas d'hôtes stratégie ponte au champ monophagie diapause
Bénin	Nord	Savane arborée (30-40)	Mosaïque de cultures sous parc arboré, vergers. Savanes et forêts sèches	Coton, céréales et légumineuses Mangues et anacardes	Chenilles de la capsule Mouches des fruits Cochenilles Punaises, fourmis Foreurs des fruitiers	polyphagie mobilité polyphagie compétition vection mobilité diversité
	Centre	Savane arborée (20-40)	Patch zones humides, vergers. Savanes et forêts	Tubercules, céréales, légumineuses, Riz et maraîchage de bas-fonds Mangues et anacardes	Pucerons, thrips Punaises du niébé Foreurs de tiges Mauvaises herbes Mouches des fruits Cochenilles Punaises, fourmis Foreurs	oligophagie mobilité oligophagie polyphagie compétition vection diversité
	Sud et littoral	Savane arborée (10) et forêt côtière (50)	Savane et forêt-galerie. Patches de périmètres irrigués, vergers	Agrumes et mangues Maraîchage Maïs	Mouches des fruits Tordeuses, fourmis Charançon du noyau Mouches blanches Nématodes	polyphagie mobilité diversité fécondité vection
Mali	Plateau Mandingue	Savane herbacée (0-20)	Mosaïque de cultures	Céréales, légumineuses Vergers Maraîchage	Foreurs de tige Mouches de fruits Virose du gombo	oligophagie et monophagie polyphagie
	Plateau Koutiala	Savane arborée (0-20)	Mosaïque de cultures sous parc arboré	Coton, céréales, légumineuses Riz, maraîchage Vergers	Chenilles Foreurs de tige Mouches des fruits Mauvaises herbes	polyphagie diversité

Sur le plan de la biodiversité, cette gamme de contextes recouvre des situations pour lesquelles :

- (i) l'aridité du climat représente la contrainte principale, au Sénégal sur les territoires des Niayes et la vallée du fleuve Sénégal notamment, où les patches de cultures irriguées intensives dans les bas-fonds et le long des canaux d'irrigation, ou les vergers, constituent des habitats privilégiés en saison sèche,
- (ii) l'emprise agricole et les systèmes de production (céréales, légumineuses, ou coton) contribuent à une simplification des paysages comme dans le bassin arachidier au Sénégal, le plateau Mandingue au Mali, et dans une moindre mesure le Nord Bénin,
- (iii) une importante biodiversité d'écosystèmes pérennes (forêts, forêts galerie), et d'espèces cultivées (céréales, légumineuses, tubercules, légumes traditionnels, vergers, etc.) perdure dans l'espace et le temps en relation avec un régime des pluies bimodal. Au sud du Bénin, les vergers se composent surtout des agrumes tandis qu'au nord, ce sont plutôt des vergers de manguiers jouxtant des vergers d'anacardiers, intégrés dans différents types de savanes arborées.

La variabilité de la densité de population rurale explorée, entre 10 et 300 hab.km⁻² est à mettre en regard des potentialités locales du milieu. Avec des densités de population faibles, les territoires arides étudiés présentent des contraintes liées à la disponibilité des ressources hydriques pour l'irrigation, et foncières, en lien notamment avec la salinisation des sols. Avec une densité de population de 200 hab.km⁻², le bassin arachidier sénégalais présente une situation plus préoccupante sur le plan de la sécurité alimentaire que des zones plus peuplées au Bénin, mais bénéficiant de conditions climatiques plus favorables. Enfin, sur l'ensemble des pays, les zones de production intensive irriguée (maraîchage, riz) et les cultures commerciales pluviales concentrent les enjeux de réduction de pesticides et de préservation de l'environnement. La diversité des traits de vie des bio-agresseurs offre une gradation de complexité en matière de gestion, selon leur mobilité (mouvements locaux vs. migration ou diapause), leur spécialisation trophique (monophagie vs. polyphagie) et l'étendue de leur aire de répartition.

DIVECOSYS s'intéresse à la diversité cultivée impliquée dans la sécurité alimentaire des populations rurales et des centres urbains avec qui elles interfèrent (agriculture péri-urbaine). Les travaux actuels des chercheurs impliqués dans le dispositif portent sur les productions vivrières de céréales (mil, sorgho, maïs et riz) et de légumineuses (arachide, niébé), l'arboriculture fruitière (vergers de manguiers, agrumes, anacardiers), et le maraîchage (tomate, chou, gombo, légumes traditionnels, etc.). Le dispositif considère également les cultures à vocation plus commerciale (coton, horticulture, etc.) qui non seulement contribuent directement ou indirectement au revenu des populations rurales, mais participent à la diversité des systèmes biologiques en interaction au sein des paysages. Les activités de recherche sont mises en œuvre avec les partenaires du développement locaux (Fédération de producteurs au Sénégal, Centres régionaux ou communaux de promotion agricole au Bénin, sociétés cotonnières, etc.) qui participent activement à la formulation des questions de recherche et l'émergence de l'innovation.

◎ Questions de recherche et lacunes de connaissance

Nous distinguons ici des questions appliquées, spécifiques des contextes particuliers explorés par le dispositif de questions théoriques qui traversent le dispositif par rapport à ses objets de recherche et constituent des *gaps* de connaissance.

○ Questions de recherche finalisée

Ci-après, quelques questions clés extraites de la liste de questions de recherches finalisées afférentes à chaque équipe/écorégion.

- Quelles sont les capacités de dispersion des insectes à l'échelle du paysage et de la région ?
- Quelle est l'échelle pertinente pour la gestion des populations du ravageur ?
- La protection physique peut-elle contrôler les ravageurs aériens du chou et de la tomate ?
- Quel est l'effet de l'écimage sur le profil des composés volatils émis par les cotonniers ?
- A quelle échelle mettre en œuvre des systèmes *push pull* pour protéger les cultures ? Est-il possible d'identifier des « odeurs » de paysage (attractives, répulsives) afin de modifier le comportement des bio-agresseurs ou de leurs antagonistes ?
- Quelle est l'importance des dégâts de termites sur les vergers ?
- Des espèces de légumes traditionnels en rotation ou en association peuvent-elles réduire les populations de nématodes dans le sol ?
- Quels sont les types de mycotoxines sécrétés par les agents fongiques responsables des moisissures ?
- Est-ce que la gestion de la fertilité du sol avec de la matière organique et une certaine diversité cultivée favorise les antagonismes du sol (résistance aux ravageurs et maladies) ?
- Quels sont les facteurs qui favorisent l'envahissement des parcelles par les mauvaises herbes ?
- Quel est le rôle des populations de mauvaises herbes dans la dynamique des populations de ravageurs des cultures ?
- Quel est le point de vue de l'agriculteur face aux techniques proposées et quels en sont les facteurs d'adoption ou de rejet ?
- Quels savoirs locaux pour le contrôle des bio-agresseurs ?

○ Questions de recherche théoriques

Les questions théoriques émergent de la volonté de croiser des représentations de systèmes biologiques inhérentes aux disciplines de l'agronomie et de l'écologie afin de produire des connaissances, des méthodes et des outils (modèles en particulier) au service de l'action individuelle et collective.

- La mobilisation des services de régulation écologique des bio-agresseurs peut-elle permettre d'augmenter la productivité des systèmes agricoles ?



- A quelle échelle spatiale, les populations interagissent-elles génétiquement et démographiquement ?
- Quels dispositifs d'étude pour appréhender la dynamique des systèmes biologiques et la modéliser, en relation avec les contextes paysagers et les systèmes de vie des bio-agresseurs considérés ?
- Quels sont les niveaux d'organisation spatiale pertinents pour les actions individuelle et collective, dans la perspective d'une gestion durable de la production au niveau du territoire ?
- Dans le cadre du changement global, quels sont les scénarios de dynamiques paysagères des territoires considérés et quels sont leurs impacts prévisibles sur les services de régulation ?
- En corollaire à la question précédente, quels modèles pourraient être développés pour explorer les scénarios *op. cit.*, au regard notamment d'une évaluation *ex ante* des systèmes de production émergents en tant qu'innovation ?
- Comment gérer collectivement les paysages ? Quelle gouvernance pour agir sur des systèmes sociotechniques complexes ?

◎ Animation scientifique et formation à et par la recherche

Le dispositif DIVECOSYS comprend des chercheurs et enseignants-chercheurs de différentes institutions partenaires du CIRAD : CNRA (INRAB, ISRA et IER), Universités (FST-UCAD, UGB, FSA-UAC) et CIRA (IITA). Les objectifs et les questions de recherche abordées s'inscrivent dans le cadre de l'agro-écologie pour laquelle une animation est déjà en cours à Montpellier. Nous nous inspirerons de ces réflexions pour construire une animation scientifique au sein du DP, adaptée à la pluralité de contextes socio-écologiques explorés. DIVECOSYS devra favoriser la formation universitaire et professionnelle et le renforcement des compétences scientifiques et institutionnelles dans les institutions partenaires, en particulier par l'accueil de stagiaires et la contribution à des modules d'enseignement.

Certains chercheurs sont déjà impliqués dans l'enseignement supérieur ou la formation au travers de l'accueil d'étudiants, dans le cadre du Master 2 « Gestion durable des agro-écosystèmes horticoles » (Gedah) de la Faculté des Sciences et Techniques de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar, et du Master « Ressources phytogénétiques et protection des cultures » de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin. De plus, concernant Gedah, la première promotion du Master 1 a démarré en janvier 2013 tandis qu'un programme de Master 2 « professionnel » ouvert aux cadres de l'horticulture est en cours de montage.

Treize thèses de doctorat sont encadrées par des chercheurs de DIVECOSYS en 2013 (cf. Annexe 1). Les problématiques abordées s'inscrivent dans un cadre d'intensification écologique de la production agricole, prenant en compte les services de la biodiversité fonctionnelle, en particulier dans les systèmes de production horticole. Les insectes sont les bio-agresseurs les plus représentés (12 thèses sur 13), avec des études sur les processus

écologiques de régulation de leurs populations par les communautés d'ennemis naturels. Une seule thèse traite de la gestion des mauvaises herbes; elle est conduite sur les systèmes de culture dans les bas-fonds rizicoles au Bénin. L'environnement de la parcelle cultivée est abordé dans au moins trois thèses, sur des modèles biologiques tels que la noctuelle *Helicoverpa armigera*, la mouche des fruits *Bactrocera invadens* et la teigne du chou *Plutella xylostella*. Ces recherches s'accompagnent du recours à de nouveaux outils de gestion et d'analyse des informations géographiques (SIG), d'étude des populations de bio-agresseurs (marqueurs moléculaires et biochimiques), et de modélisation. Au Sénégal, les doctorants sont majoritairement inscrits dans l'Ecole doctorale « Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement » de l'UCAD. Au Bénin, il s'agit principalement de l'Ecole doctorale « Sciences agronomiques ».

Toujours dans le domaine de la formation, l'intérêt de l'usage des TICs (Technologies de l'information et de la communication) est à analyser en regard du développement des nouveaux outils déjà disponibles ou qui le seront prochainement (PI@ntwise/CABI, Di@gnoplant/INRA-Cirad). En particulier, les problèmes d'identification des bio-agresseurs (dont les espèces invasives), de leurs dégâts ou de leurs antagonistes, seront considérés du fait de l'érosion des connaissances dans ce domaine. La plateforme d'échange d'informations *AfroWeeds* et le module d'identification des mauvaises herbes d'Afrique de l'Ouest seront utilisés par DIVECOSYS.

☉ Interactions avec les autres DP et perspectives

Trois dispositifs de recherche et d'enseignement en partenariat du Cirad (ASAP, PPZS et SISTO) interviennent dans la zone géographique couverte par DIVECOSYS, à savoir l'Afrique de l'ouest (Tab. II). Quatre autres dispositifs (SPAD, PCP Agroforesterie Cameroun, PCP AFS-PC et SISMA) abordent des questions de recherche qui peuvent intéresser DIVECOSYS.

Par rapport à ces dispositifs, DIVECOSYS se distingue par l'entrée « gestion des bio-agresseurs » comme voie d'intensification écologique de la production. L'activation de processus écologiques à l'origine de la régulation des bio-agresseurs se retrouve partiellement dans les objectifs des PCP AFS-PC en Amérique du Sud et Agroforesterie Cameroun et de SPAD à Madagascar, à ceci près que DIVECOSYS considère une pluralité d'espaces d'action au sein du paysage (action individuelle et collective), dépassant ainsi ceux du champ cultivé et de l'exploitation agricole (action individuelle) privilégiés dans les autres DP.

Tableau II. Liste des dispositifs de recherche et d'enseignement en partenariat (DP) en interaction potentielle avec DIVECOSYS.

DP	Thématique	Partenaires du Cirad
ASAP (UMR Selmet, UMR Innovation)	Intensification écologique et conception des innovations dans les systèmes agro-sylvo-pastoraux de l'Afrique de l'Ouest	Cirdes, Univ. Bobo Dioulasso, Inera, IER Sikasso
PPZS (UMR Selmet, UMR ERRC)	Pôle pastoral zones sèches, Sénégal et Sahel	Univ. Cheikh Anta Diop (UCAD), Centre de suivi écologique (CSE), Institut sénégalais de recherche agricole (ISRA)
SISTO (UMR Tétis)	Système d'information spatialisé, territoires et observatoires en Afrique de l'Ouest	CILSS, ESP-UCAD, IER, ISESTEL, ESI, IDR, UEMOA, Min. de l'agriculture du Burkina Faso, Univ. Ouagadougou
PCP Agroforesterie Cameroun (UPR Bioagresseurs, UMR System)	Plateforme de recherche pour le développement de systèmes agroforestiers durables et performants en Afrique	IRAD, Univ. Yaoundé et Dschang
PCP AFS-PC (UMR System, UMR Eco&Sols)	Mesoamerican scientific partnership platform «Agroforestry systems with perennial crops»	Catie, Bioversity international, INCAE, Cabi, Promecafé
SPAD (UPR SCA)	Systèmes de production d'altitude et durabilité	Fofifa, Univ. Antananarivo, GSDM, opérateurs de développement
Réseau SIRMA (UMR G-eau)	Réseau de compétences en partenariat (systèmes irrigués au Maghreb)	Algérie, Maroc, Tunisie

Dans le cadre de l'évaluation de la performance des systèmes, une alliance avec SISTO pourrait permettre d'alimenter un observatoire de l'état « écologique » des territoires étudiés. L'état écologique d'un verger ou d'un bassin de production se mesure grâce à des bio-indicateurs dont il convient de préciser (i) la nature, écologique (indices de biodiversité, événements de pullulation de bio-agresseurs, invasions biologiques, diversité et efficience des ennemis naturels, etc.) ou physico-chimique (contaminants du milieu et des aliments, etc.) et (ii) la pertinence en regard du fonctionnement écologique des communautés impliquées dans les processus de régulation des bio-agresseurs ciblés.

Annexe 1. Thèses en cours

1. Anato, Florence. 2011-2014. Effects of weaver ants, *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera, Formicidae), on yield and quality of mango and cashew fruits in Benin. Univ Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin. Co-encadrement J.-F. Vayssières (UR Hortsys).

L'objectif général est de contribuer à la mise en œuvre de la lutte biologique par les fourmis tisserandes (*Oecophylla longinoda*) au Bénin en évaluant leurs effets sur le rendement et la qualité des mangues et noix de cajou. Les objectifs spécifiques sont:

- Comprendre par une étude de diagnostic le contexte agricole local et ses enjeux; obtenir des informations sur les réseaux institutionnels et leur environnement, et des circuits de commercialisation soutenant les systèmes agricoles locaux;
- Identifier les impacts négatifs ou positifs de l'utilisation des fourmis tisserandes dans les vergers de manguiers et de noix de cajou;
- Evaluer la rentabilité économique des fourmis tisserandes utilisées comme méthode de contrôle des ravageurs de mangues et noix de cajou;
- Evaluer l'impact de l'alimentation et de la récolte des fourmis sur la densité de population, la survie des colonies et sur le rendement et la qualité des mangues et noix de cajou;
- Evaluer l'impact des fourmis tisserandes sur la composition physico-chimique et la qualité organoleptique des produits de fruits.

2. Diamé, Lamine. 2011-2014. Relations entre le fonctionnement des agro-écosystèmes à base d'arbres fruitiers et les fourmis (Hymenoptera, Formicidae), indicateurs de biodiversité. Impact éventuel sur les populations de mouches des fruits (Diptera, Tephritidae). Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal. Ecole Doctorale « Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement ». Direction K. Diarra (Ucad), co-encadrement J.-Y. Rey, I. Grechi et J.-F. Vayssières (UR Hortsys) et R. Blatrix (UMR Cefe).

Les objectifs sont de vérifier si la biodiversité des fourmis peut servir d'indicateur de l'état de l'équilibre des agroécosystèmes à base d'arbres fruitiers dans les sites concernés et d'évaluer l'impact des fourmis sur les populations de *Bactrocera invadens* (larves et adultes). Les activités porteront sur la caractérisation des peuplements de fourmis vivant dans les vergers (inventaire et estimation de la biomasse), la mise en relation de la typologie des agroécosystèmes avec la biodiversité des fourmis et la recherche de relations entre la biodiversité des fourmis, le fonctionnement des agro-écosystèmes et le développement de la mouche des fruits *Bactrocera invadens*.

3. Diatta, Paterne. 2011-2013. Relation entre le fonctionnement des agro-écosystèmes fruitiers et les fluctuations de la population de la mouche des fruits : *Bactrocera invadens* (Diptera, Tephritidae) dans les régions de Dakar et Thiès (Sénégal). Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal. Ecole Doctorale « Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement ». Direction K. Diarra (Ucad), co-encadrement M. Lechaudel et J.-Y. Rey, I. Grechi et J.-F. Vayssières (UR Hortsys).

L'objectif de la thèse est de rechercher des corrélations entre le fonctionnement des agro-écosystèmes fruitiers et les fluctuations de la population de la mouche des fruits *Bactrocera invadens*. Le travail concerne plus particulièrement l'étude de deux composantes du fonctionnement des systèmes : (i) les pratiques des arboriculteurs qui sont supposées liées à leurs objectifs commerciaux et leurs motivations, ainsi que (ii) la phénologie des fruits hôtes, sauvages et cultivés, dans et à proximité des agro-écosystèmes étudiés (présence de fruits hôtes susceptibles d'héberger les larves). La dynamique de la mouche des fruits *B. invadens* sera suivie et corrélée à l'ensemble des données sur le fonctionnement des agro-écosystèmes fruitiers, qui sont collectées dans le cadre du projet général d'analyse des systèmes fruitiers dans les Niayes.

4. Diatte, Mamadou. 2012-2015. Distribution, gamme d'hôtes et résistance aux insecticides chez la noctuelle de la tomate, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae) au Sénégal. Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal. Ecole Doctorale « Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement ». Direction K. Diarra (Ucad), co-encadrement T. Brévault (UR SCA).

Le projet de thèse se propose d'étudier l'effet des pratiques agricoles sur l'abondance et la résistance des populations de la noctuelle et sur l'efficacité de la régulation par les ennemis naturels. Les échantillonnages

d'insectes ravageurs et de faune auxiliaire effectués dans la zone des Niayes apporteront une évaluation quantitative des populations de la Noctuelle, ainsi qu'une idée de la diversité et de l'efficacité des ennemis naturels. Ils produiront également une information capitale pour les producteurs, sur le niveau de résistance aux insecticides des populations d'*H. armigera*, autrement dit sur l'efficacité des matières actives utilisées. Les résultats doivent permettre de proposer des stratégies de gestion durable de ce ravageur, basées en partie sur l'activation des processus de régulation par les ennemis naturels. Les activités de recherche seront mises en œuvre avec les partenaires locaux (Fédération de producteurs) qui faciliteront les échanges avec les producteurs et la diffusion de l'information.

5. Fall, Mambodji. 2012-2015. Distribution, gamme d'hôtes et compétition interspécifique au sein du complexe de mouches des fruits (Diptera, Tephritidae) inféodées aux cultures légumières au Sénégal. Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal. Ecole Doctorale « Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement ». Direction K. Diarra (Ucad), co-encadrement T. Brévault (UR SCA).

Ce travail s'articulera autour de trois questions de recherche : (1) quelles sont les espèces de Tephritidae et parasitoïdes associés rencontrés sur les cultures maraîchères? Y'a-t-il de nouvelles espèces de Tephritidae par rapport à l'inventaire réalisé par Badji (1998)? (2) Quels sont les dégâts causés aux cultures? Quelle est la gamme d'hôte des espèces recensées? (3) Quel est le niveau de compétition entre les espèces rencontrées sur une même niche écologique ?

Les résultats doivent contribuer à l'amélioration des stratégies de gestion de ces ravageurs, basées en partie sur l'activation des processus de régulation naturelle. Les bénéficiaires potentiels de ce projet sont principalement les agriculteurs et les organisations paysannes dans les zones étudiées.

6. Labou, Babacar. 2012-2015. Effet des pratiques agricoles et du paysage sur l'abondance des populations de la teigne du chou, *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Plutellidae). Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal. Ecole Doctorale « Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement ». Direction K. Diarra (Ucad), co-encadrement T. Brévault (UR SCA) et D. Bordat (UR Hortsys).

Le projet de thèse se propose d'étudier l'effet des pratiques agricoles et des éléments du paysage sur les populations de la teigne du chou, *Plutella xylostella*, et sur l'efficacité de la régulation naturelle de ses populations par les ennemis naturels. Des échantillonnages effectués dans un réseau de parcelles de la zone des Niayes au Sénégal apporteront une information qualitative et quantitative sur l'importance des populations de la teigne du chou ainsi qu'une estimation du rôle de la faune auxiliaire dans la régulation naturelle de ses populations. Les résultats doivent également éclairer le rôle des traitements insecticides et du paysage sur l'importance des infestations de la teigne du chou et sur l'efficacité de la régulation naturelle. D'un point de vue appliqué, ces résultats pourraient déboucher sur la mise en œuvre de recommandations pour la gestion intégrée de la teigne du chou. Les activités de recherche seront mises en œuvre avec les partenaires locaux (Fédération de producteurs au Sénégal) qui faciliteront les échanges avec les producteurs et la diffusion de l'information.

7. Ouagoussounon, Issa. 2011-2014. Boosting the growth of weaver ants, *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera, Formicidae), for colonies rearing. Univ Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin. Co-encadrement J.-F. Vayssières.

L'objectif global est de tester et d'améliorer la technologie connue pour fournir des reines fécondées de fourmis tisserandes et de réduire le temps qu'il faut pour atteindre la maturité colonie. Les objectifs spécifiques sont :

- Identifier le comportement d'accouplement en fonction des saisons pour prédire la période adéquate de collecte des fourmis reines pour la production de nouvelles colonies.
- Tester l'effet de la température et de la transplantation de nymphes sur la croissance initiale de la colonie d'*Oecophylla longinoda*.
- Etude de l'espace nécessaire pour stimuler la croissance des colonies de fourmis tisserandes.
- Tester si les reines nouvellement accouplées peuvent être adoptées par des colonies avec peu de reines.

8. Sané, Cheikh Amet Bassirou. 2012-2014. Relations entre le fonctionnement des agro-écosystèmes à base de manguiers et les dégâts des termites (Insecta : Isoptera) dans les régions de Dakar et Thiès (Sénégal).

Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal. Ecole Doctorale « Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement ». Direction K. Diarra, co-encadrement C. Rouland-Lefevre (IRD), J.-Y. Rey, I. Grechi, J.-F. Vayssières et I. Grechi (UR Hortsys), avec l'appui de P. Mora (Laboratoire BIOEMCO, Univ. Paris-Est Créteil Val de Marne).

Description des espèces et de la biologie des termites présents dans les vergers à base de manguiers de la région des Niayes au Sénégal. Estimation des dégâts dus aux termites. Etude sur la mise en place de méthodes de lutte biologiques, biochimiques et agro-écologiques.

9. Téréta, Idrissa (chercheur IER). 2010-2013. Etude des mécanismes impliqués dans les effets phytosanitaires de l'écimage du cotonnier. Univ. Technique. et Technologique. de Bamako (UTTB), Mali. Direction H. Maïga, co-encadrement A. Renou et T. Brévault (UR SCA).

En Afrique de l'Ouest, les chenilles de la capsule sont les principaux ravageurs de la culture cotonnière. Leur contrôle, indispensable pour obtenir une production satisfaisante en quantité comme en qualité, se fait encore essentiellement en appliquant des insecticides de synthèse. Parmi les alternatives à la lutte chimique, l'écimage des cotonniers (10 jours après l'apparition de la première fleur) est apparu prometteur dès 2002 au Mali. Mais pour retirer le meilleur parti de cette pratique il convenait : i) de préciser ses effets biologiques (cibles, apparition, durée et étendue des effets) et ii) d'identifier les mécanismes susceptibles de les expliquer en liaison avec iii) les modifications entraînées au niveau de la plante pour iv) élaborer et évaluer des stratégies de lutte appropriables par les producteurs.

10. Touré, Amadou. 2009-2013. Impact of weed management by smallholder farmers on weed flora in inland valley rice-based systems in Southern Benin. Univ. Abomey-Calavi, FSA Spécialité Sciences Agronomiques, Cotonou, Bénin. Direction K. Dansou, co-encadrement J. Huat (UR Hortsys) et P. Marnotte (UR SCA).

L'objectif global de la thèse est de caractériser les communautés de mauvaises herbes dans différents systèmes de culture le long d'une toposéquence de bas-fond rizicoles et d'identifier les facteurs qui influencent les pratiques paysannes de gestion des mauvaises herbes dans la perspective de mieux contrôler leur gestion. L'étude est conduite dans trois bas-fonds rizicoles villageois au sud-Bénin et recouvre différents systèmes de culture riz-maraîchage. Les données sont obtenues par voie d'enquête auprès des agriculteurs (structure d'exploitation, pratiques culturales, perceptions paysannes, savoirs locaux...) et par des mesures au champ (relevés floristiques à différentes étapes du cycle cultural, rendement des cultures, ...) pendant la saison des pluies et pendant la saison sèche pendant deux années.

11. Tsafack, Noëlline. 2010-2013. Etude de la dynamique spatiale des populations de noctuelle polyphage *Helicoverpa armigera* en Afrique de l'Ouest pour une mobilisation accrue des services de l'écosystème. Univ. P. Sabatier, Toulouse, France. Direction A. Ouin (UMR Dynafor), co-encadrement P. Menozzi (UR SCA).

Le sujet de thèse se propose d'étudier la dynamique spatiale des populations d'*Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae). Il s'agit de (i) de déterminer l'origine géographique des papillons en mettant au point l'analyse de la flore bactérienne, (ii) l'origine trophique des papillons en mettant au point l'analyse des isotopes stables de carbone (^{13}C et ^{12}C) et l'analyse des marqueurs biochimiques. L'analyse paysagère est un grand volet de cette thèse, elle nous permettra de comprendre la part de la mosaïque paysagère dans les taux d'infestation et l'abondance des adultes pendant les pics. Ces outils innovants seront appliqués dans le cas de la zone cotonnière d'Angaradébou dans le Nord/Bénin.

12. Vigdobena, Faustin. 2010-2013. Adoption et impact environnemental du contrôle des ravageurs par le filet anti-insectes (Agro-Net) dans les exploitations maraîchères du sud-Bénin. Univ. Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin. Direction R.C. Tossou (Univ Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin), co-encadrement A. Adegbidi (UAC), M. Ngouadjo (Michigan State University), L. Parrot, S. Simon et T. Martin (UR Hortsys).

Monsieur Faustin Vidogbena, actuellement responsable de la formation au CeRPA Atlantique Littoral et ex-chercheur à l'INRAB au Bénin, est engagé dans une thèse avec le Cirad sur le thème de l'impact économique et environnemental des filets anti-insectes en Afrique de l'Ouest et de l'Est (Bénin et Kenya). Les travaux de Monsieur Vidogbena s'inscrivent dans le projet "Horticulture Collaborative Research Support Program

(Horticulture CRSP)” cofinancé par l’USAID/Université du Michigan et le Cirad. Il travaille ainsi en étroite collaboration avec l’équipe du projet “Low cost pest exclusion and microclimate modification technologies for small-scale vegetable growers in East and West Africa” basée au Bénin. Sa thèse consiste à tester plusieurs hypothèses relatives aux modes d’adoption des filets anti-insectes; plus précisément, il est amené à évaluer les préférences des maraîchers, les effets du dispositif de communication sur la conscientisation des maraîchers, les perceptions des agriculteurs, l’analyse de l’adoption proprement dite, les déterminants de la dés-adoption (abandon), l’analyse de la rentabilité et l’influence des conditions du marché sur les stratégies commerciales.

13. Wargui, Rosine. 2011-2014. The biological control effect of weaver ants, *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera Formicidae), on major pests in mango and cashew crops in Benin. Univ. Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin. Co-encadrement J.-F. Vayssières.

La mangue et noix de cajou sont des cultures importantes en Afrique de l'Ouest. Cependant, leur productivité reste faible en raison de dégâts graves d’insectes nuisibles et d’une gestion agronomique insuffisante. Les producteurs actuellement utilisent des pesticides régulièrement, conduisant à l’accroissement des coûts, des prédateurs et parasitoïdes naturels dans le verger, une accoutumance des insectes aux pesticides, à des résidus de pesticides sur les fruits et la pollution de l’environnement. Il s’agit d’élaborer un programme de lutte intégrée avec des fourmis comme agent de lutte biologique majeure pour lutter contre les ravageurs de la mangue et noix de cajou. Sur la base des exemples réussis de l’utilisation de fourmis tisserandes dans les vergers d’agrumes dans le delta du Mékong (Vietnam) ainsi que dans les vergers de noix de cajou et manguiers en Australie et en Afrique, la recherche proposée a pour but: «d’évaluer l’impact des fourmis tisserandes *O. longinoda* comme agents de lutte biologique contre les ravageurs majeurs dans la mangue et noix de cajou au Bénin ». Les objectifs spécifiques sont :

- Identifier les principaux ravageurs de la mangue et de noix de cajou, leur abondance et d’évaluer leur incidence sur les différents organes des plantes.
- Évaluer l’efficacité du contrôle biologique des ravageurs de la mangue et la noix de cajou par les fourmis tisserande et en déterminer la densité nécessaire pour ce contrôle.
- Évaluer l’alimentation des fourmis et l’impact sur la récolte des activités des fourmis de bio-contrôle
- Déterminer les mécanismes utilisés par les fourmis tisserandes pour le contrôle biologique dans les vergers de mangue et de noix de cajou.
- Déterminer les méthodes alternatives de contrôle sur les ravageurs non contrôlés par les fourmis.